

· 施 工 ·



# 印尼Adipala防波堤施工期波浪与堤头防护分析

曹 兵, 靳 克, 周加杰

(中交四航局第二工程有限公司, 广东 广州 510300)

**摘要:** 介绍印度尼西亚中爪哇Adipala电厂项目防波堤施工期堤头防护技术, 结合分析开敞式印度洋海域环境下的水文特性, 阐述防波堤的平面形态和水文特性对堤头防护方案比选的相互作用, 探讨印度洋高频次强风浪条件下防波堤堤头防护的有效施工技术模式, 可为同类工程提供借鉴和参考。

**关键词:** 印度洋; 防波堤; 堤头防护

中图分类号: TV 656.2

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2014)01-0188-04

## Wave analysis and research on protection of breakwater head under construction period for Adipala breakwater, Central Java, Indonesia

CAO Bing, JIN Ke, ZHOU Jia-jie

(The Second Engineering Company of CCCC Fourth Harbour Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** This paper introduces the protection technology of breakwater head under construction period for Adipala Power Plant, Central Java, Indonesia. Based on the analysis of the hydrologic characteristics of the open environment in the Indian Ocean, this paper describes the interaction of breakwater shape and hydrologic characteristics on the plan of breakwater head protection, discusses the effective mode of breakwater head protection mode under high frequency and strong wave in the Indian Ocean, which may serve as reference for similar projects.

**Key words:** the Indian Ocean; breakwater; head protection

在复杂条件下防波堤施工期防护尤其是堤头防护的首要原则是在确保安全的前提下追求施工成本最小化, 堤头的防护材料和拆装速率则严重制约着防波堤的成本和进度, 本文针对印度洋环境下波浪特性和施工期堤头临时防护进行分析, 寻求节省费用和提高装拆效率的施工期堤头临时防护方案, 为后续类似工程的施工提供借鉴经验。

### 1 工程概况

印尼Adipala东防波堤工程<sup>[1]</sup>为斜坡式抛石全断面扭王字块防护式结构, 全长1 530 m, 由堤根直线段、中间圆弧段和堤头直线段3部分组成, 堤顶高程由堤根5.86 m过渡至堤头8.31 m, 扭王字块

体规格由2 t变化为25 t, 外坡坡比为1:1.5。防波堤施工为自岸侧向海侧陆推推进为主, 小型开体驳水抛为辅进行堤身块石施工, 块体安装采用150 t及280 t履带起重机陆上进行施工, 按照先施工外侧至堤头、再倒退施工堤顶及内侧的顺序进行组织。防波堤施工典型断面如图1所示。

### 2 自然条件

#### 2.1 气象

工程所在地属热带雨林气候, 根据当地气象站20 a观测数据, 施工区域温度年变化范围为20.8~33.2℃, 湿度变化范围为65%~99%, 并划分为旱(季风期)、雨(非季风期)两季, 旱季为

收稿日期: 2013-05-16

作者简介: 曹兵(1977—), 男, 工程师, 从事港口工程施工和管理工作。

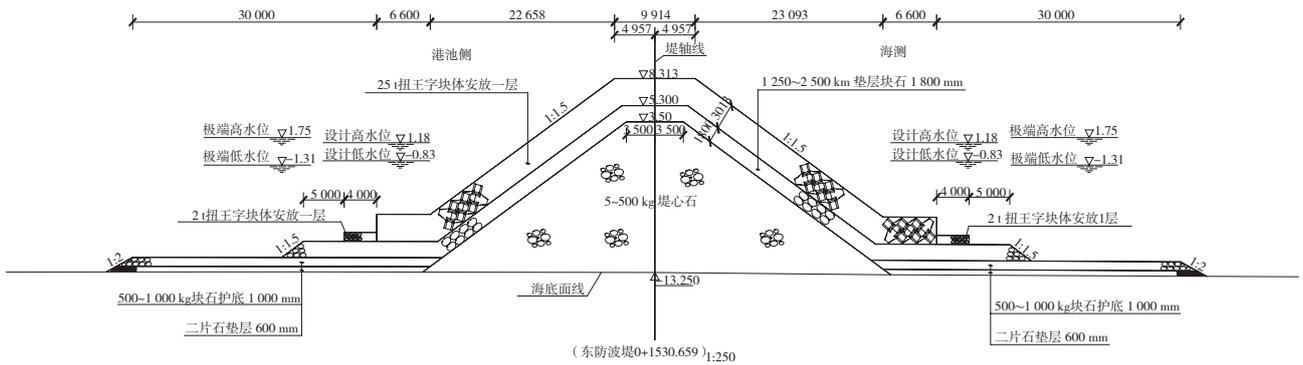


图1 东防波堤典型断面

每年的5—10月, 雨季为11月至次年4月, 年降水量平均值为3.379 m。

### 2.2 水位

防波堤所在海域为不规则半日潮, 即每天发生2次低潮、2次高潮, 设计高水位1.18 m (以当地

理论最低潮面为基准), 设计低水位-0.83 m, 极端高水位1.75 m, 极端低水位-1.31 m, 在防波堤里程EB.0+1 280 m处底端泥面高程为-13.0 m时的设计波浪要素如表1所示。

表1 防波堤设计波浪要素(EB.0+1 280 m)

重现期	水位	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{5\%}/m$	$H_{13\%}/m$	$\bar{H}/m$	平均周期/s	波长/m
2 a 一遇	设计高水位	5.45	4.66	4.53	3.85	2.50	13.21	159.63
	设计低水位	5.36	4.59	4.46	3.80	2.43	13.21	157.06

### 2.3 风

每年5—9月常风向及强风向为E向, 11月至次年3月常风向及强风向为W向, 10月及4月为过渡月份, 50 a一遇最大风速为20.96 m/s。根据2006—2012年工程所在地附近波浪观测站点 Batu Hiu 风速统计资料, 月不同风速占比频率如图2所示。

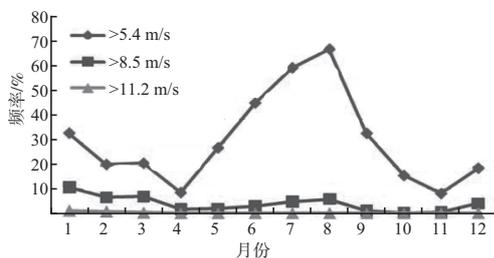


图2 月不同风速占比频率

### 2.4 波浪

防波堤提前波浪由外海涌浪及工程海区风成浪组成, 外海涌浪SSW向, 受地形影响传播至工程海域后变为SE向和SSE向, 波高较大; 工程海区风成浪为SE向, 波高较小。根据2012年4月—2013年3月波浪统计资料, 波高变化范围为0.7~3.5 m,

波浪周期变化范围为9~21 s; 根据2006—2012年工程所在地附近波浪观测站点 Batu Hiu 波高统计资料, 月不同波高占比频率如图3所示。

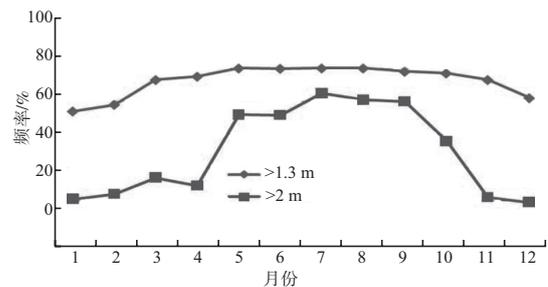


图3 月不同波高占比频率

## 3 强浪特性及破坏性分析

### 3.1 强浪特性

防波堤施工常年受印度洋季风气候影响, 季风期为每年5—10月, 防波堤基本无法推填施工; 非季风期为11月至次年4月, 非季风期中每月有1~3次波高在2.5~3.5 m、波浪周期在18~21 s的强浪袭击防波堤, 施工期防波堤堤头防护频次较高。根据Adipala工程2012年4月—2013年3月观测站点数据, 月波浪周期及相应波高如表2所示。

表2 2012-04—2013-03月波浪周期及波高

年份	月份	最大周期/s	最大波高/m	平均周期/s
2012年	4月	20	3.5	14.2
	5月	19	2.4	13.2
	6月	18	2.2	15.0
	7月	20	2.5	15.3
	8月	20	3.0	14.7
	9月	19	3.0	14.5
	10月	18	2.2	14.1
	11月	18	2.2	13.5
	12月	17	2.3	13.3
	2013年	1月	18	2.5
2月		17	2.5	13.1
3月		17	2.5	13.1

### 3.2 强浪方向与防波堤平面形态

强浪冲刷防波堤堤头的状况与防波堤的平面形态直接相关<sup>[2]</sup>, 防波堤建设过程中防波堤堤根破碎段0+000~0+383 m波浪表现为S向, 与防波堤堤头断面垂直, 中间圆弧段0+383~0+800 m防波堤外海侧波浪常浪向由S向变化为SSE向, 表现为波浪由与堤头断面垂直变化为自外侧向内侧横切堤头断面, 堤头直线段波浪常浪向SSE向, 波浪表现为横切堤头断面, 大浪期间堤头水流速度加快, 现场观测堤头最大水流流速超过10 m/s, 水位变动区水流变化最为剧烈, 对防波堤形成的冲刷破坏最严重, 急速水流形成的冲击力使块石和块体浮动, 并形成顶托和携带作用, 从而使水位变动区堤头和内坡块石滑动漂移, 波浪特大时带动外侧扭王字块随水流滑向坡底。

### 3.3 不同阶段强浪破坏性分析

防波堤破坏形式表现为0+000~0+383 m里程强浪方向S向与堤头断面垂直, 堤头直接迎强浪袭击, 堤头破坏形式表现为堤头堤心石、垫层石后退, 受水流作用块石堆积在内、外坡, 部分块石受水流冲刷滚落至外侧已安装扭王字块体表面; 0+383~0+800 m圆弧转弯段里程强浪方向SSE向与堤头断面夹角由45°向-2°渐变, 堤头破坏形式表现为块石受水流作用向内坡滑移, 内坡块石先失稳破坏, 石头全部堆积在内坡, 波浪强度大时, 外坡扭王字块也随块石失稳自外坡滑向内坡; 0+800~0+1530 m堤头直线段里程强浪方向与堤头断面近乎平行, 呈-2°夹角, 堤头破坏形式表现为

强浪横切堤头, 未采用块体防护堤心石、垫层石自堤头逐段被强浪切削至内侧; 有块体防护段则稳定性好于圆弧转弯段, 防波堤外侧正面迎击强浪冲刷, 但强浪期间堤顶越浪明显。

上述圆弧转弯段及堤头直线段堤头破坏形式均表现出当堤头达到临界失稳状况后, 在很短时间内将全部破坏, 防波堤堤头里路一路后退, 直至随水流堆积在堤身内侧的块石和块体对堤身形成支撑作用后才逐渐停止倒退, 强浪所带来的破坏性非常大。

## 4 施工期堤头防护方案比选与优化

针对防波堤堤头波浪冲击的常态化和高频率, 堤头防护全部采用块体将造成防护成本过高、装拆工期较长, 同时堤头防护水位以下块体无法有效拆除、费用损失特别大等问题, 严重制约工程进度和增加工程费用。经过对不同防护方式如块体防护、堤头块石灌浆、钢桁架防护罩、钢丝网石笼<sup>[3]</sup>等方案的比选(表3), 综合考虑施工工艺、工期、费用、实用性等特征, 最后选择钢丝网石笼配合块体进行堤头防护, 经现场实践发现其表现出良好的适用性和经济性。

钢丝网石笼具有良好的透水性、柔性、较强的抗冲刷和抗风浪袭击能力。良好的透水性减轻了强浪对石笼的冲刷强度, 同时减轻水流对防护结构的顶托和真空吸力; 良好的柔性使石笼网受水流冲刷后网内的块石即使产生位移, 变形后的石笼结构会产生新的平衡, 其整体结构可在风浪力作用下自行微调, 使其断面更有效的适应波浪冲刷。经过现场实践应用, 钢丝网石笼表现出良好的抗冲刷和抗波浪袭击能力, 同时其制作工序简单、速度快、安装便易、堤头恢复施工便易, 适合于强风浪高频率条件的堤头临时防护施工。

## 5 堤头防护

根据波浪携带能量预测情况, 堤头的波浪强度与波高、波周期和风速直接相关, 按照现场观测数据和施工实践经验, 分以下4种工况进行堤头防护的设置(表4)。

表3 堤头防护方案比选

方案	工艺特征	优缺点
方案1 钢丝网石笼	4 m × 1 m × 1 m 钢丝石笼网 钢丝直径 $d=4$ mm 30 t 平板运输 280 t 起重机安放	优点:制作方便,加工简单速度快,造价低;结构本身有良好的透水性、柔性、较强抗冲刷和抗波浪袭击能力,堤顶石笼不用拆除,恢复施工快 缺点:耐久性差,波浪冲刷周期长时易破坏;单体重重量轻,波浪大时易整体失稳;一次性消耗品、无法重复利用
方案2 预制块体	C25 混凝土、16 ~ 22 t 扭王字块、30 t 平板运输、280 t 起重机安放	优点:定型构件,单体重,连锁效果好,消浪能力强,对大浪的防护效果好,安全性高 缺点:造价高,装拆周期长
方案3 块石灌浆	C25 混凝土、搅拌机运输、泵车泵送、人工振捣	优点:施工方便,速度快,整体性好,造价较低 缺点:水位以下部分水流速度大,无法成型,只能施工水位以上部分,防护有效范围较小,易自下而上破坏
方案4 钢桁架防护罩	H350 标准型钢主骨架、[12 槽钢支撑、4 mm 钢板面板制作,30 t 平板车运输、280 t 起重机安放	优点:安装速度快,整体性好 缺点:制作周期长、受波浪冲刷变形严重,拆除困难,周转次数低,同时,对桁架基层块石平整度要求高,施工难度大,造价较高

表4 不同工况条件下施工期堤头防护措施(非季风期)

工况	工况特征	施工期堤头防护措施
工况1	1 000 ≤ 能量值 < 1 500 1.5 m ≤ 波高 < 2.0 m	采用不小于 1000 kg 垫层块石对外坡及堤头进行理坡防护,理坡高程为 -5.0 ~ +3.5 m,堤头当天推进当天防护
工况2	1 500 ≤ 能量值 < 2 000 2.0 m ≤ 波高 < 2.5 m	堤头及内坡采用 CAT385 大型挖掘机做 -5.0 m 戗台,采用 4 m × 1 m × 1 m 钢丝网石笼防护堤头坡面,定时检查及补装
工况3	2 000 ≤ 能量值 < 2 500 2.5 m ≤ 波高 < 3.0 m	堤头及内坡采用 CAT385 大型挖掘机做 -5.0 m 戗台,水位以下安装石笼、设置块体压脚,水位以上安装 22 t 扭王字块体护面
工况4	能量值 > 2 500 波高 > 3.0 m	堤头及内坡采用 CAT385 大型挖掘机做 -5.0 m 戗台,坡面全部安装 22 t 扭王字块体护面

注:实践表明,石笼耐久性较差,24 h 内稳定性较好,时间长则石笼破损较多,后续施工宜加以改善,采用钢筋笼装石或钢丝绳网兜装石以确保防护效果。

工况1堤头块石基本可满足自稳条件,防波堤实行边推边理坡边在外坡安装预制块体防护,可不间断向前推进;当达到工况2时,堤头的块石在波浪水流的冲刷下已不能自稳,堤头块石将向内坡漂移,此时,需在堤头及内坡20 m范围施工-5.0 m戗台,自戗台至坡顶的堤头和内坡采用石笼结构进行防护,过程中对破损石笼及时补装,待波浪条件达到工况1状态时,清除堤顶石笼继续向前推填;当达到工况3时,水位面以下部分安装石笼破坏率高,易造成坡脚失稳,水位以上遇有瞬时大浪则整体失稳的危险性加大,无法及时补装进行防护,故在底端要设置块体压脚层,避免底脚石笼结构失稳,待达到工况1时拆除堤顶预制块体,继续向前推进;当达到工况4时即特大浪时,整个堤头范围均要采用预制块体进行围护,此种结构与国内台风来临前防护模式相同。

## 6 结语

1) 根据本工程的施工实践,针对施工期堤头不同风浪条件下的波浪状况,区分为不同的工况作业环境,针对性地提出不同的堤头临时防护方案,使堤头防护措施明确化,能够最大限度地降低堤头防护成本,提升项目运行效益。

2) 钢丝网石笼结构在高频次强风浪条件下防波堤施工期堤头防护中得到成功应用,解决了波浪较大时堤头临时防护的技术难题。

3) 在面对开敞式印度洋环境防波堤施工时,需要加强对印度洋风浪环境的认知程度,对波浪特性与防波堤平面形态的相互作用进行分析,并在实践中加以校核和验证,以合理组织和策划频次较高、周期较长、波高较大波浪作用下的防波堤堤头临时防护,相信本工程的施工实践能为类似的开敞式印度洋环境防波堤施工期堤头临时防护提供参照和借鉴。

(下转第196页)